

Si ottiene disponendo su uno statore a poli salienti gli avvolgimenti di eccitazione concentrati e avvolti attorno ai poli.

Alimentando in corrente continua mentre sul rotore ISOTROPO (dove si intende con isotropia una omogenea distribuzione spaziale di masse e campi, e non come per le macchine sincrone o asincrone ugualianza tra rotore e statore relativamente ai poli lisci o sporgenti).

nelle macchine DC, c'è un avvolgimento di indotto distribuito generalmente a tamburo in cui i conduttori sono collocati in cave di tipo aperto ricavato sulla periferia esterna del ROTORE. I conduttori sono collegati alle lamelle esterne del collettore saldato con il rotore su cui strisciano in posizione fissa una o più coppie di spazzole che collegano il circuito di indotto con il circuito esterno.

L'alimentazione dell'avvolgimento di eccitazione può avvenire utilizzando una sorgente ausiliaria di corrente continua (ECCITAZIONE SEPARATA) oppure sfruttando il magnetismo residuo che il circuito magnetico conserva una volta precedentemente utilizzato (macchina autoeccitata).

Lo statore oltre ai poli principali può presentare anche i poli ausiliari e gli avvolgimenti compensatori.

Lo statore è realizzato con materiale massiccio in quanto è interessato da un flusso costante nel tempo.

Il rotore invece è costituito da un materiale magnetico laminato in quanto sottoposto ad un flusso variabile.

La macchina in corrente continua può funzionare da generatore "DINAMO" o da motore. Frequentemente è utilizzata come motore.

FUNZIONAMENTO DA GENERATORE (simile alla macchina sincrone)

La forza magnetica indotta è vuota in un avvolgimento di rotore e la corrente continua che percorre il circuito di eccitazione mette in gioco al trasverso una forza magnetica di tipo Rettangolare (come per le macchine sincrone) fissa rispetto allo statore.

Il cui smorzamento rispetto ad un tratto di sezione trasversale rettificato della macchina si vede a pag 283 fig. 4-3 b e c.

A tale forza magnetica motrice corrisponde una induzione a vuoto individuata dalla linea di flusso che uscendo da un polo attraversa il trofero, si concatena con i conduttori di rotore e rientra nel polo opposto. Il relativo andamento rettangolare è conseguenza dei valori dell'induttanza associate alle linee di flusso. In un generico conduttore dell'avvolgimento di rotore e rientra nel polo opposto, il relativo andamento rettangolare è conseguenza dei valori dell'induttanza.

In un generico conduttore dell'avvolgimento di rotore si induce un f.e.m. di valore istantaneo $\bar{e} = (\vec{v} \times \vec{b}) \cdot \vec{L}$, ossia, tenuto conto delle direzioni di v, b, L e considerando il valore efficace $e = B_m L \cdot 2 \pi f$ con $f = \frac{P \cdot n}{60}$ $\phi = B_m \cdot \tau \cdot L$ dove B_m è il campo di induzione medio

sostituisco:
$$e = 2 \phi \left(\frac{P \cdot n}{60} \right) \quad \text{f.e.m. indotta in un conduttore.}$$

Se il rotore ruota con Ω costante la f.e.m. assume nel tempo valori proporzionali a quelli dell'induzione ed è pertanto rappresentabile da una curva alternata che ha nel tempo il medesimo andamento della f.m.m. si trova quindi nello statore ed è di tipo alternato (vedi pag 283) e rettangolare, mentre la f.e.m. si trova nel rotore ed ha lo stesso andamento della f.m.m. cioè di tipo rettangolare. Tuttavia collegando assieme le singole lamelle del collettore ad opportuni gruppi di collettore di indotto è possibile avere tra le spazzole fisse una forza elettromotrice unidirezionale di valore pressoché costante.

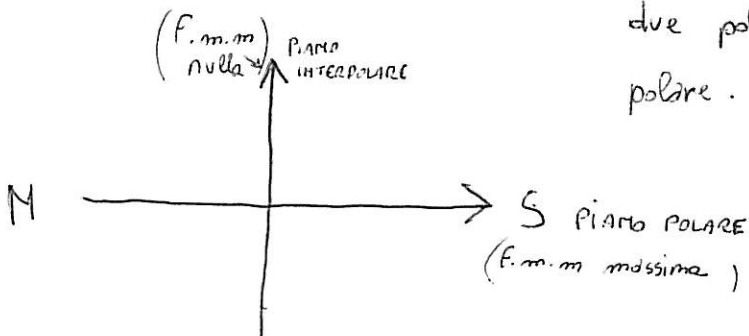
Per ottenere tale risultato è necessario che qualsiasi sia la posizione angolare del rotore l'avvolgimento di indotto presenti sempre la medesima configurazione geometrica rispetto alle spazzole, e questo risulta possibile solo se l'avvolgimento è del tipo chiuso, con spire uguali e uniformemente distribuite, e se i singoli collegamenti tra i singoli conduttori dell'avvolgimento e le lamelle si ripetono ciclicamente, in maniera identica e con soluzione di continuità. (pag 284)

Consideriamo una macchina a due poli: un rotore ad anelli sul quale è disposto un avvolgimento toroidale simmetrico chiuso dove ciascuna spira è collegata ad una lamella del collettore.

- 1) Si può osservare che ciascuna spira è soggetta durante la rotazione dell'indotto ad un flusso variabile e quindi sede di una forza elettromotrice alternata il cui andamento dipende dalla distribuzione del flusso.
- 2) La forza elettromotrice istantanea indotta in una spira è nulla quando passa sul piano interpolare, e massima quando passa sul piano polare.

PIANO POLARE: È individuato dai due poli della macchina Nord e Sud.

PIANO INTERPOLARE: È individuato nel caso delle macchine a due poli alla normale con il piano polare.



- 3) data una spira la f.e.m. indotta nella spira diametralmente opposta ha valore uguale valore ma segno opposto, questo implica che la sommatoria Σ delle forze elettromotrici è uguale a zero.

- 4) in ogni istante le spire appartenenti ad uno dei due semidischi individuati dal piano interpolare presentano forze elettromotrici di ampiezze diverse ma dello stesso segno, le spire disposte nell'altro semidisco presentano fem di segno contrario.

Semidisco: fem di segno concordi (ma di diversa ampiezza)

nell'altro semidisco: fem di segno contrario (non parla delle ampiezze)

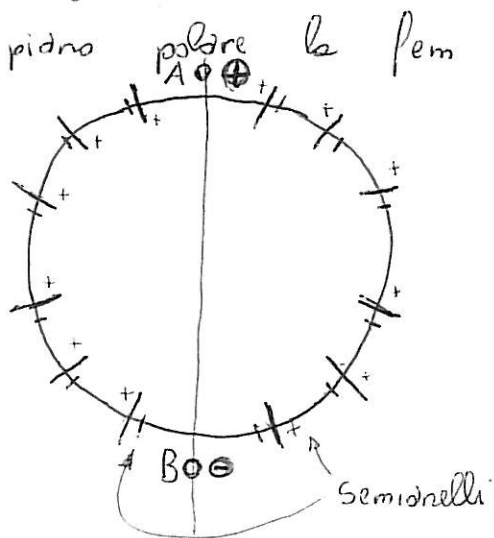
5) Pur essendo la forza elettromotrice indotta di una spira di valore diverso istante per istante, in quanto varia istante per istante il flusso con essa concatenato, tuttavia, considerando un generico piano fisso immerso nello spazio, ogni spira quando passa per lo stesso piano è sede della stessa forza elettromotrice in quanto il flusso concatenato in quella posizione è uguale per tutte le spire.

Il circuito esterno collegato alle spazzole, mantenuto costantemente in collegamento mediante il collettore con due punti diametralmente opposti dell'avvolgimento di rotore disposti sul piano interpolare.

Ne viene che la distribuzione spaziale delle forze elettromotrici indotte nell'avvolgimento di rotore non varia nell'avvolgimento di rotore rispetto alle spazzole.

Quindi, definite con a e b le due spazzole poste sul piano interpolare si raccoglie una forza elettromotrice continua pari alla somma delle forze elettromotrici dei due seminelli in parallelo.

Se si considera anziché di porre le spazzole su di un piano interpolare di metterle su un piano ruotato di un angolo δ (delta) rispetto a quest'ultimo la forza elettromotrice alle spazzole si riduce in quanto le forze elettromotrici indotte nelle spire comprese nell'angolo δ sono compendiate da quelle di segno opposto e comprese nell'angolo opposto. Cioè tra due punti diametralmente opposti sul piano polare la fem alle spazzole è nulla.



Indicando con N il numero delle spire nell'avvolgimento toroidale la p.e.m. che si raccoglie sulle spazzole posta sul piano interpolare è max e vale:

$$E_0 = \frac{N}{60} \cdot \phi_0 \cdot n$$

Per una macchina che ha $P=1$ da cui $2p=2$ $P = \text{coppie poli}$

La corrente I è uguale a $I_a = \frac{I}{2a}$ dove $2a$ è il numero di vie interne. (pag 289)

FUNZIONAMENTO A CARICO DELLA MACCHINA IN CONTINUA

Quando si collegano le spazzole della macchina con un circuito esterno si verificano principalmente i fenomeni descritti in seguito.

1) La macchina eroga una corrente $I = I_a \cdot 2a$

* La posizione delle spazzole individua il piano detto piano di commutazione. La corrente I_a danno luogo a una distribuzione di forze elettromotrici diverse dal funzionamento a vuoto.

Quindi a carico si ha una diminuzione della differenza di potenziale ai morsetti esterni per effetto della caduta di tensione provocata dalla resistenza degli avvolgimenti e di quella propria delle spazzole.

La corrente I_a inoltre circolando nell'avvolgimento e collettore dà luogo a una forza magnetomotrice di indotto (reazione di indotto) che si compone con quella di induttore.

modifica il valore e la distribuzione lungo il traferro dell'indotto prodotto dalla sola forza magnetomotrice di induttore.

Di conseguenza nasce una coppia frenante.

Si possono avere fenomeni di scintille alle spazzole con possibili formazioni di archi dovuti a p.e.m. indotte nelle spire.

REAZIONE DI INDOTTO (DOMANDA D'ESAME)

Per analizzare gli effetti della reazione di indotto si consideri una macchina con piano di commutazione sul piano interpolare e si consideri i tre casi.

1)° funzionamento a vuoto con $(I_e \neq 0, I_a = 0)$
corrente di eccitazione
in circuito
nell'induttore corrente da circuito negli
avvolgimenti di indotto

2)° funzionamento a carico $(I_e \neq 0, I_a \neq 0)$

3)° funzionamento con sovracorrente di indotto $(I_e = 0, I_a \neq 0)$

Analizzando questo ultimo caso, inviamo attraverso le spazzole una corrente continua I_a e non eccitiamo l'avvolgimento induttore.

La forza magnetica motrice è fissa rispetto allo statore rappresentabile mediante il diagramma a gradini (pg 292)

La forza magnetica motrice di indotto provoca:

1) Una distorsione della distribuzione di \vec{B} (induzione)

2) Una deviazione del flusso per polo rispetto al funzionamento a vuoto. A vuoto il piano di inversione di B è il piano neutro cioè interpolare. A carico si ha uno spostamento del piano definito come piano di commutazione.

La forza elettromotrice vale $E = \frac{PM}{a60} \phi_m = K_e \phi_m$

P_c = piano di commutazione individuato dal campo B

Si consideri il corso di spire in commutazione e quindi il piano di commutazione è spostato rispetto al piano interpolare.

Poiché i valori massimi delle forze magnetica di reazione di indotto si hanno in corrispondenza al piano di commutazione.

COMMUTAZIONE (domande d'esame)

Esaminando l'andamento della corrente in una spira dell'avvolgimento di indotto si osserva che ad ogni passaggio delle spazzole sulle lamelle del collettore alle quali fa capo la spira, considerata la corrente I_a e il suo verso analizziamo il fenomeno della commutazione da un punto di vista qualitativo considerandolo come piano di commutazione il piano interpolare.

Nell'istante $t = t_0$ la spazzola tocca soltanto la lamella 1 e la corrente vi perviene però in parti uguali da due vie interne.

Se il rotore si muove nel senso della freccia la spazzola in un determinato istante entra in contatto con la lamella 2.

(Vedi figura 4.10 pag 294) Il contatto simultaneo della spazzola con le lamelle 1 e 2 dura fino all'istante $t = t_2$ in cui la spazzola abbandona la lamella 2.

Il tempo di contatto $T_c = t_2 - t_0$ è chiamato tempo di commutazione, durante tale intervallo la spira in commutazione è chiusa in corto circuito dalla spazzola.

Se la corrente ^{nella spira} in corto circuito segue durante il tempo t_c il diagramma lineare indicato in (fig 4.11 pag 295) indicato con e , in quanto si ripartirebbe tra due lamelle in corto circuito in ragione direttamente proporzionale alla superficie di contatto della spazzola dando luogo a una distribuzione uniforme della corrente sulla superficie di contatto.

In realtà essendo la spira dotata di una propria induttanza tende a mantenere la corrente nella spira in corto circuito nella direzione che essa aveva prima dell'inizio della commutazione.

Di conseguenza a carico si ha una forza elettromotrice che si oppone al cambiamento della corrente.

Inoltre la resistenza di contatto tra la spazzola e il collettore non è costante e altre spire in commutazione contemporanee producono forze elettromotrici di mutua induzione. Ne viene che il fenomeno della commutazione può allontanarsi dalle condizioni di linearità come indicato dalla curva (4.11 pag 295 curva "a"), in realtà si ha la curva b che corrisponde ad un notevole addensamento di corrente sulle sommità della spazzola che sta per allontanarsi

dalla lamella con la quale era precedentemente in contatto, con forte surriscaldamento e produzione di scintillio e formazione di archi.

BISOGNA ADOTTARE I SEGUENTI ACCORGIMENTI

- 1) basso valore di L in commutazione
- 2) Impiego di spazzole con resistenza di contatto elevata.
- 3) Spostamento del piano di commutazione nella direzione del senso di rotazione del rotore.
- 4) Impiego di poli ausiliari compensativi

QUESTI PUNTI VENGONO REALIZZATI NEL SEGUENTE MODO:

- 1) Il basso valore di L si ottiene realizzando cave di tipo aperto rispetto alle cave di tipo semiaperto o chiuso.
- 2) L'impiego di spazzole con resistenza di contatto elevata forzando il rapporto $\frac{L}{R} = \text{costante}$.
- 3) Spostare le spazzole nel senso del moto è possibile avere nelle spire in commutazione una induzione B_c
- 4) L'impiego dei poli ausiliari permette di produrre una forza elettromotrice $E_{em. 2}$ alta a compensare quella di autoinduzione E_1 in ogni condizione di carico mantenendo quindi il piano di commutazione sul piano interpolare. (confrontare i due grafici F 4,12 e F 4,9, pg (293 e 297))

FUNZIONAMENTO DA MOTORE

La macchina è con eccitazione differenziale in tre modi.

Questa macchina in D.C. ha importanza soprattutto nel funzionamento come motore per l'ampia regolazione della velocità che esso può offrire.

Nell'analisi dei motori è opportuno tuttavia vedere i sistemi di eccitazione e le equazioni di funzionamento.

A) MACCHINA COM ECCITAZIONE INDIPENDENTE fig a pag 308

B) MACCHINA COM ECCITAZIONE DERIVAZIONE fig b

C) MACCHINA COM ECCITAZIONE IN SERIE fig c

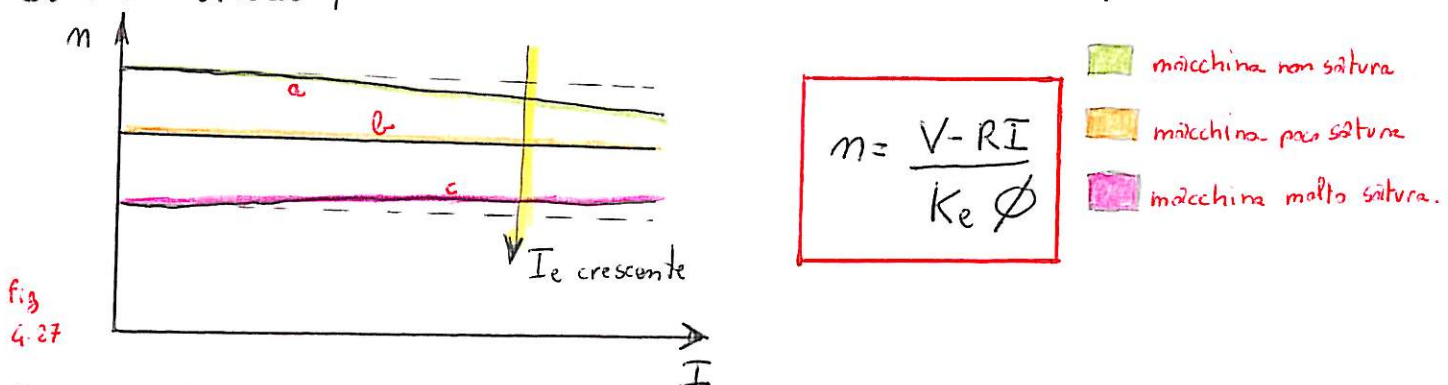
A rotore fermo per $m=0$ la forza contro elettromotrice è nulla e la macchina assorbe una elevata corrente di ampiezza $\frac{V}{R}$, nel caso di eccitazioni indipendente o in derivazione e $\frac{V}{(R+R_{s2})}$ per limitare la corrente la corrente ad un valore ammissibile all'avviamento si inserisce in serie con l'avvolgimento di indotto un reostato perciò la corrente di avviamento diventa $I_a = \frac{V}{R+R_s+R_a}$ e la coppia di avviamento vale $K_e \cdot \phi \cdot I_a = C_a$

CARATTERISTICA DEI MOTORI DC (domanda d'esame)

Le caratteristiche di interesse a ciascun tipo di eccitazione riferite a tensione costante sono:

- 1) Caratteristica elettromeccanica della velocità in funzione della corrente assorbita
- 2) Caratteristica elettromeccanica della coppia in funzione della corrente assorbita
- 3) Caratteristica meccanica in funzione della velocità.

Si analizzano per la macchina ad eccitazione indipendente



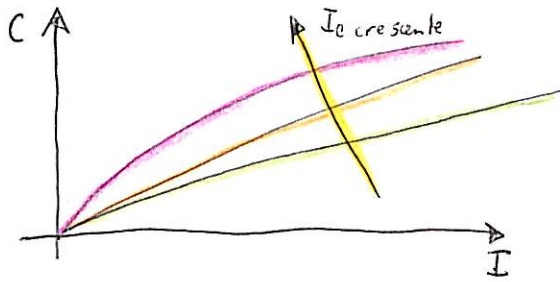
Dalla relazione si vede che n diminuisce al crescere di RI ed è inversamente proporzionale al flusso per polo.

In assenza di avvolgimenti compensatori si hanno per effetto della reazione di indotto una diminuzione di flusso che compensa le cadute RI .

Con il circuito magnetico molto saturo e sempre in presenza di avvolgimenti compensatori si ha sempre una diminuzione del denominatore maggiore di quella del numeratore e quindi si ha un

aumento della velocità al crescere della corrente I .

Caratteristica elettromeccanica della coppia in funzione della corrente di eccitazione I_e e I (fig 4,28)



- I_e per macchina molto saturata
- I_e per macchina poco saturata
- I_e per macchina non saturata
- I_e ECCITAZIONE CRESCENTE

La caratteristica elettromeccanica della coppia si ottiene dalla relazione:

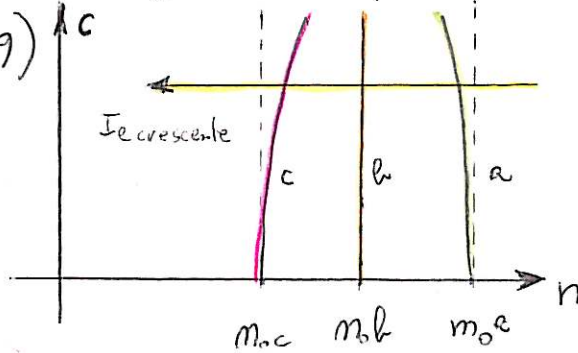
$$C = K_e \phi I$$

CARATTERISTICA MECCANICA

La caratteristica della coppia in funzione del numero di giri in assenza di avvolgimenti compensatori è data dal grafico che segue.

In presenza di avvolgimenti compensatori ha andamento rettilineo.

(vedi fig 4-29)

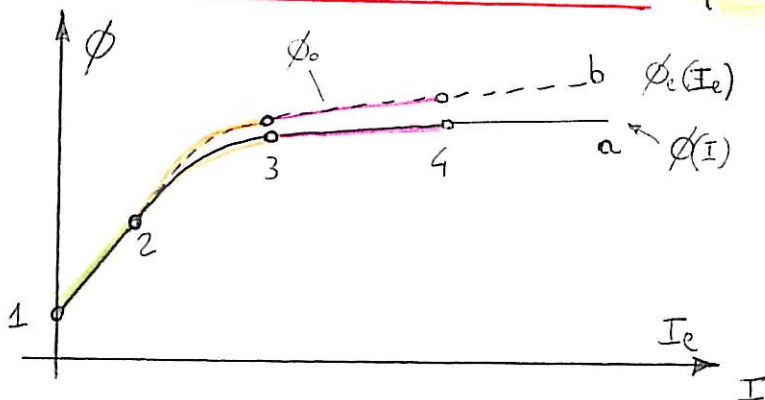


- I_e per macchine molto saturate
- I_e per macchine poco saturate
- I_e per macchine NON saturate
- Verso crescente di I_e

MACCHINA CON ECCITAZIONE IN DERIVAZIONE

N.B. Essendo per V_{cost} $I_e = \text{costanti}$ gli andamenti sono identici a quelli della macchina ad eccitazione indipendente. (vedi pag 312)

MACCHINA CON ECCITAZIONE SERIE (in assenza di poli compensatori)

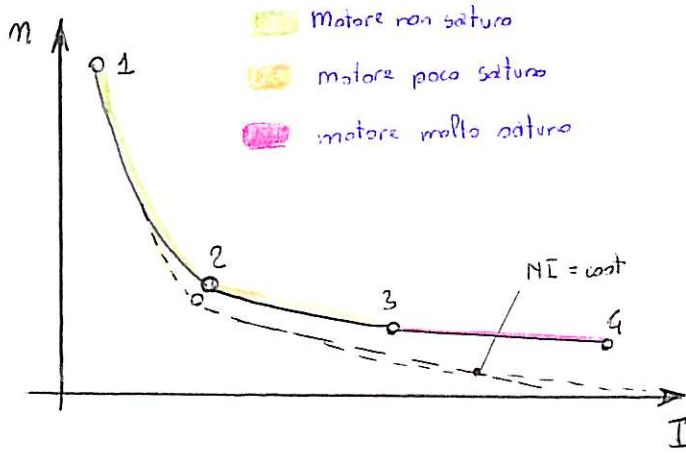


- MACCHINA NON SATURA
- MACCHINA POCO SATURA
- MACCHINA MOLTO SATURA
- curva a: flusso in funzione della corrente di indotto
- curva b: flusso in funzione della corrente di eccitazione

CARATTERISTICA ELETTROMECCANICA DELLA VELOCITA'

Fig 4.31

$NI = \phi$
per definizione.



- Il tratto 1-2 di fig. 4.31 è l'equazione di una iperbole.
- Il tratto 2-3 è il flusso e direttamente proporzionale a I
- Il tratto 3-4 è a flusso costante.

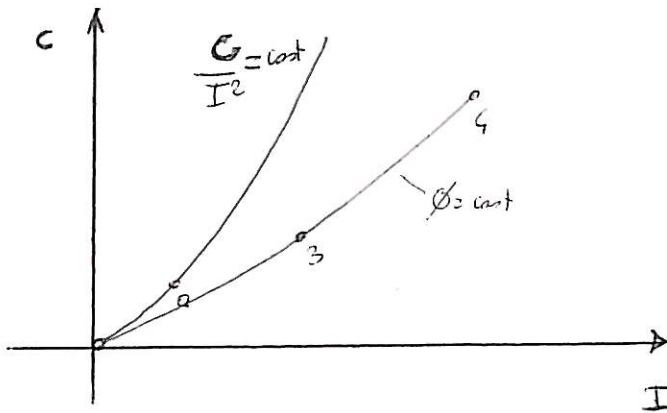
$$n = \frac{(V - R + R's) I}{K_e \phi}$$

$\phi = KI$
in ipotesi di motore non saturo (tratto 1-2)

BISOGNA EVITARE IL FUNZIONAMENTO CON CARICHI MOLTO PICCOLI

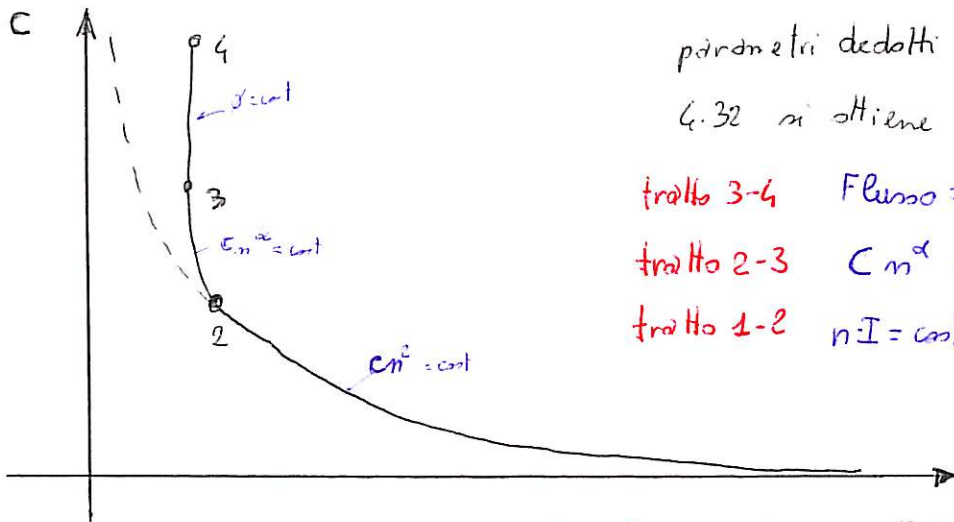
CARATTERISTICA ELETTROMECCANICA DELLA COPPIA

Fig 4.32



tratto 1-2 $C = Kc'I^2$
andamento parabolico
Il tratto 2-3, andamento come in figura tratto 3-4 tipo lineare flusso = cost.

CARATTERISTICA MECCANICA



Portando in un unico grafico i parametri dedotti dalle figure 4.31 e 4.32 si ottiene la caratteristica meccanica.

tratto 3-4 Flusso = cost

tratto 2-3 $C n^\alpha = \text{cost}$

tratto 1-2 $nI = \text{cost}$

con α compreso tra 1 e 2
 $1 < \alpha < 2$

Il motore ad eccitazione serie ha le seguenti proprietà:

- FUNZIONAMENTO STABILE
- COPPIA DI AVVIAMENTO ELEVATA
- COPPIA DECRESCENTE ALL'AUMENTARE DELLA VELOCITA' CON LIMITATE VARIAZIONI DI POTENZA SVILUPPATA DAL MOTORE.

REGOLAZIONE DI VELOCITÀ CON RESISTENZE ADDIZIONALI

Se sistema consiste nell'ottenere velocità ridotte mediante l'inserzione di resistenze esterne al circuito di armatura, mantenendo la tensione e il flusso costanti e pari ai rispettivi valori nominali.

$$n = \frac{V - RI}{K_e \phi} \quad \text{e} \quad n = \frac{V - (R + R_s') I}{K_e \phi}$$

Dalla potenza viene dissipata nelle resistenze addizionali quindi il metodo di controllo della velocità non è ottimale.

Le due espressioni di n mostrano che ad una variazione in aumento di R , mantenendo costante I (corrente di indotto) corrisponde una diminuzione di velocità.

Questa tecnica di solito viene impiegata solo in fase di avviamento (accelerazione dei treni)

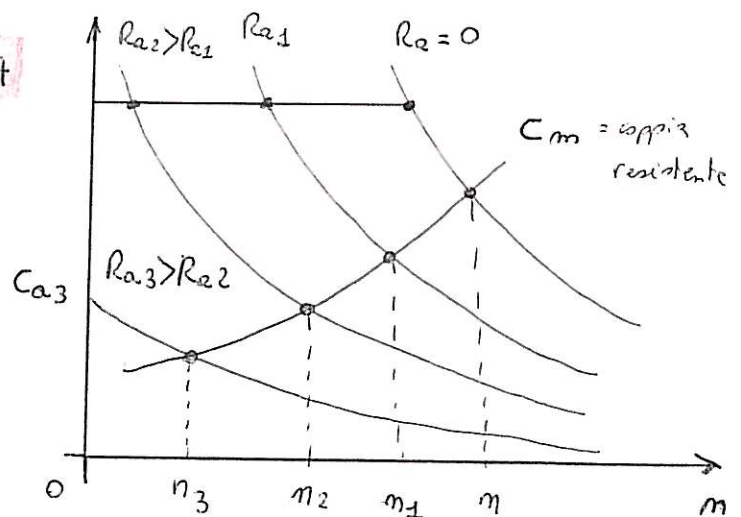
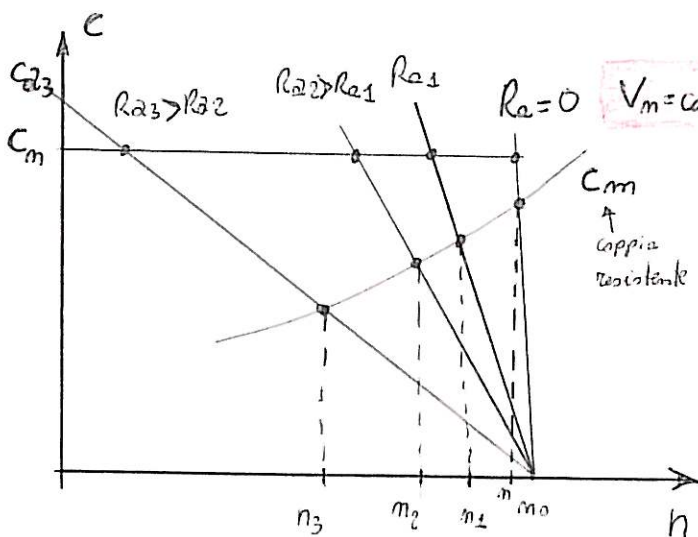
Il resistore R_a viene inserito in maniera intermittente o per brevi intervalli. (4.24)

In base alla $n_0 = \frac{V}{K_e \phi_0}$ la velocità a vuoto n_0 non

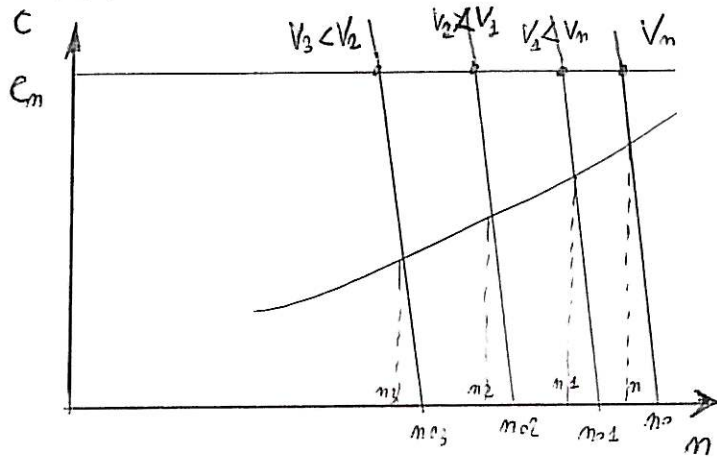
viene alterata dalla presenza in serie del resistore R_a , mentre provoca una diminuzione della coppia di avviamento.

$$I_a = \frac{V}{R + R_a}$$

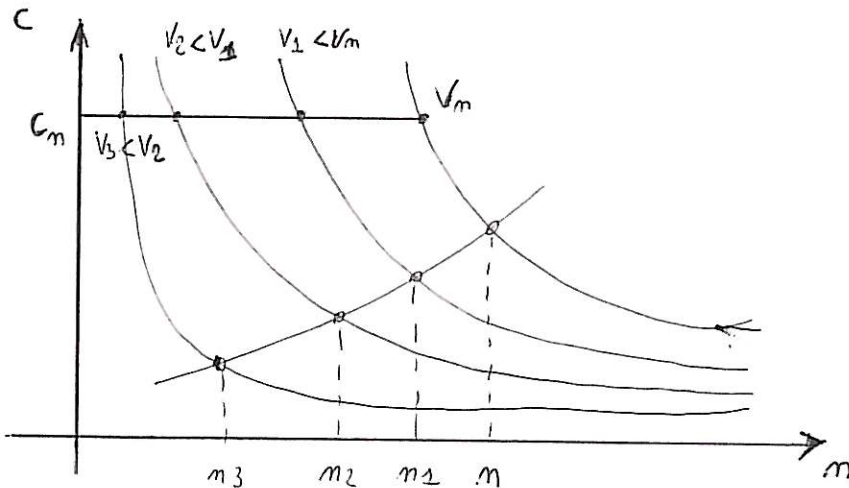
$$I_a = \frac{V}{R + R_s' + R_a}$$



EFFETTO DELLA RIDUZIONE DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE SULLA CARATTERISTICA MECCANICA DI UN MOTORE A CORRENTE CONTINUA COME ECCITAZIONE INDIPENDENTE E IN DERIVAZIONE (NON SATURO O IN PRESENZA DI AVVOLGIMENTI COMPENSATORI) E CONSEGUENTE VARIAZIONE DELLA VELOCITA' IN CORRISPONDENZA DI UNA COPPIA RESISTENTE C_m



EFFETTO DELLA RIDUZIONE DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE SULLA CARATTERISTICA MECCANICA DI UN MOTORE DC COME ECCITAZIONE SERIE E CONSEGUENTE VARIAZIONE DELLA VELOCITA' IN CORRISPONDENZA DI UNA COPPIA RESISTENTE C_m



REGOLAZIONE CON VARIAZIONE DELLA CORRENTE DI ECCITAZIONE.

Diminuendo la corrente di eccitazione e parità di corrente di indotto e mantenendo la tensione di alimentazione costante pari a V_n , si ottiene un incremento della velocità. Infatti dalla relazione:

$$n = \frac{V - R I}{K_e \phi}$$

$$n = \frac{V - (R + R_s') I}{K_e \phi}$$

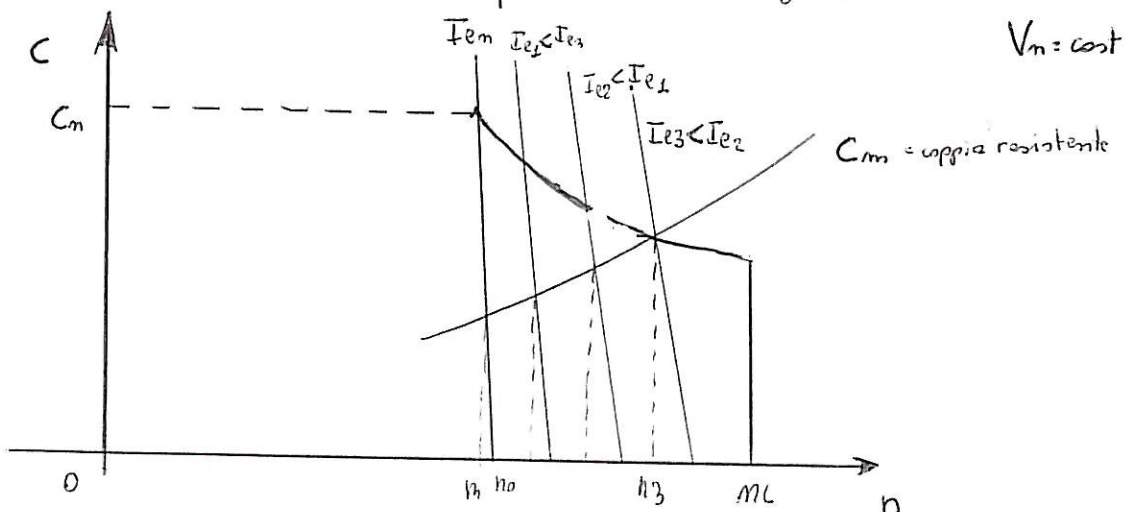
ad una diminuzione di I_e che corrisponde ad una diminuzione di ϕ

DEFFLUSSAGGIO corrisponde un aumento di velocità

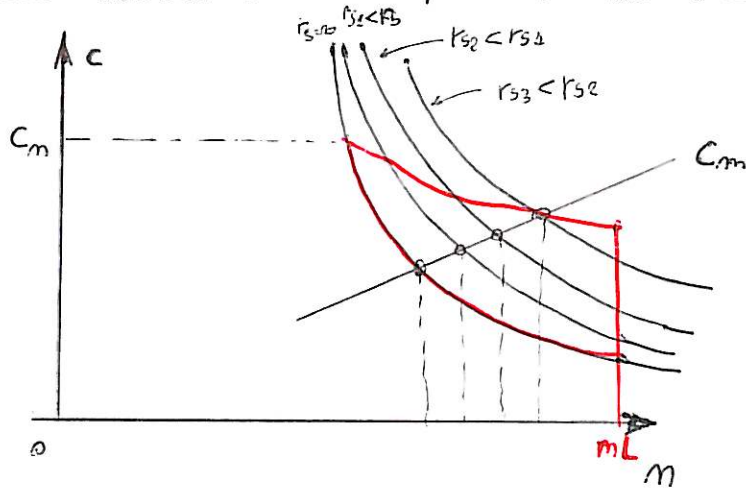
La corrente di eccitazione può essere variata intervenendo:

- 1) Sul reostato r_e o r_d in serie all'avvolgimento di eccitazione indipendente o in derivazione.
- 2) Sul reostato r_s in parallelo all'avvolgimento di eccitazione nel caso di eccitazione serie.
- 3) Sulla tensione applicata al circuito di eccitazione nel caso di eccitazione indipendente.

III ogni cosa la dissipazione di potenze sul reostato è relativamente piccola con diminuzione della corrente di eccitazione e quindi del flusso e con tensione di alimentazione costante $V_n = \text{cost}$ la caratteristica meccanica si modifica come da grafico sottostante

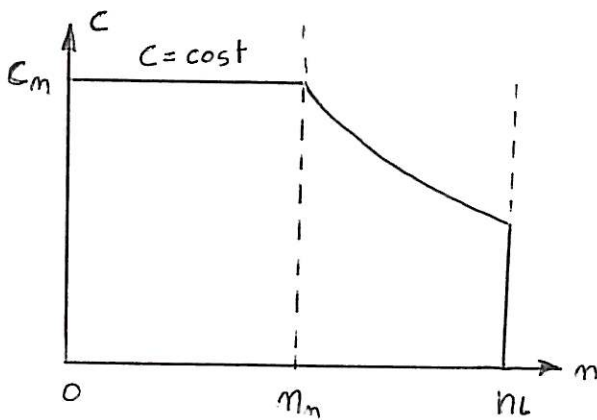


Effetto della riduzione della corrente di eccitazione sulla caratteristica meccanica di un motore a corrente continua con eccitazione serie e conseguente variazione della velocità in corrispondenza ad una coppia resistente C_m

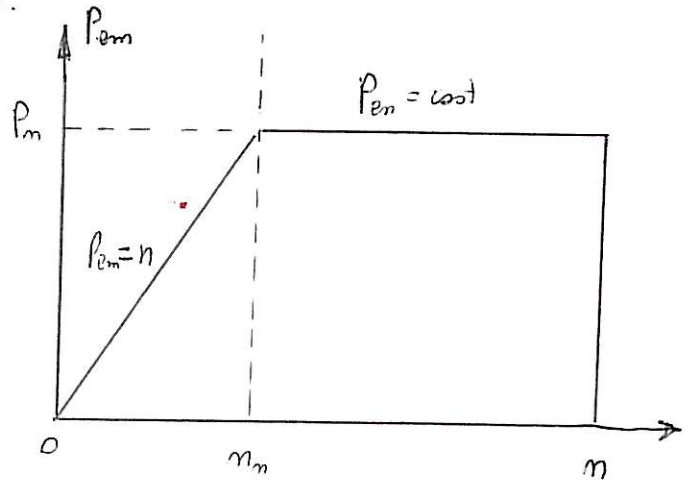


n_L = numero di giri massimo

REGOLAZIONE CON VARIAZIONE COMBINATA DELLA TENSIONE DI ALIMENTAZIONE E DELLA CORRENTE DI ECCITAZIONE.



curva limite della potenza al variare della velocità per un motore a corrente continua.



curva limite della coppia al variare della velocità per un motore a corrente continua

Invece di intervenire con dei reostati è opportuno usare dei condensatori statici.

RENDIMENTO E SPECIFICAZIONE DI UNA MACCHINA D.C.

RENDIMENTO PERDITE

- Perdite costanti
- Perdite di eccitazione
- Perdite sotto carico
- Perdite addizionali sotto carico

Rendimento

MACCHINA DC GENERATORE

$$\eta = \frac{P_{\text{erogata}}}{P_{\text{assorbita}}} = \frac{P_e}{P_m} = \frac{P_e}{P_e + P_p} = \frac{P_e}{P_e + P_0 + P_{\text{ecc}} + P_{\text{ep}} + P_{\text{adc}}}$$

con $P_e = VI$

MACCHINA DC MOTORE

$$\eta = \frac{P_{\text{erogata}}}{P_{\text{assorbita}}} = \frac{P_m}{P_e} = \frac{P_m}{P_m + P_p} = \frac{P_m}{P_m + P_0 + P_{\text{ecc}} + P_{\text{ep}} + P_{\text{adc}}}$$

IMPEGNO LAVORATIVO 2005/2006

Complessive 613 ORE DOCENZA

131 prima classe FISICA ELETTROTECNICA

186 seconda classe MATEMATICA ELETTROTECNICO ELETTRONICA

302 Terza ELETTROTECNICA LABORATORIO SICUREZZA E ANTINFORTUNISTICA

Al nuovo assunto 466 ORE RIMANENTI

TECNOLOGIA COGITA DISegno SICUREZZA E ANTINFORTUNISTICA CLASSE 1^a

" " " " " SCIENZA INTEGRATA CLASSE 2^a

" " " " " TECNOLOGIA DIS ELETTROTECNICA CLASSE 3^a

MANUTENZIONI

COME DA ANNO PRECEDENTE 182 ORE

LO SCORSO ANNO LE ORE TOTALI

ERANO 1400

137 ORE AL MESE

PIU' LE DECLARATORIE PER UN TOTALE DI 1400 ORE

